

スマートフォンによる雪崩救助支援システムの開発

庄島 優矢¹ 古庄 裕貴^{1,a)} 中西 恒夫^{1,b)}

概要：今日、雪崩遭難事故の現場で使用される雪崩ビーコンや電探システムは、購入に費用を要したり、使用に資格を要したりする。そこで本稿では、日常使用しているスマートフォンを用い、追加の費用や手間を要することなく、雪に埋もれた雪崩遭難者を発見し、救出の助けとするシステムを構築する。iBeaconを用いる当該システムでは、雪崩事故発生後、救助者のスマートフォンは遭難者のスマートフォンに向けてパケットを発信する。遭難者のスマートフォンはそのパケットに応答するとともにアラーム音の吹鳴を始める。救助者は応答パケットの電波強度から推算され表示される遭難者までの距離とアラーム音を頼りに遭難者を探索する。実際に雪原で行った実験では、どの救助者役の被験者も、雪中に埋もれた遭難者のスマートフォンを平均 150 秒で探し出すことに成功した。

A Smartphone Based System for Avalanche Rescue

YUYA SHOJIMA¹ HIROKI FURUSHO^{1,a)} TSUNEO NAKANISHI^{1,b)}

Abstract: Current systems for avalanche rescue need cost for purchase or a radio license for use. The authors construct a new system to find avalanche casualties buried in the snow quickly using smartphones with Bluetooth LE. In the system employing iBeacon, rescuer's smartphone broadcasts a packet to rescuee's smartphone after the avalanche attack. Rescuer's smartphone responds to the packet and starts alarming. The rescuer finds rescuees based on the distance estimated by the signal strength of his/her response packets and the alarm sound. In the experiment conducted in the snowy field, every experimental rescuer could find rescuee's smartphone buried in the snow within 150 seconds in average.

1. はじめに

我が国では 1990 年度から 2012 年度までの 23 年間で登山や山スキーなどの山岳活動、およびスキー場において 101 件の雪崩事故が発生している [1]。そのうち死亡事故は 92 件あり、雪崩事故の発生件数は他の事故と比して多くはないものの、その多くは死亡事故につながっている [2]。

現在雪崩遭難事故の現場で使われている雪崩遭難者を早期救助するための電子的システムは、高価であるものや使用に資格が必要であるものがあり、その事前準備には費用や手間がかかる。そのため、登山者はこうしたシステムを敬遠して不携帯のまま登山を行い、結果、ひとたび被災すれば救助の手段が限られ、死亡事故につながる。

そこで本稿では、年々普及率が増加傾向にあり、かつ登山時の持ち物として携帯が推奨されているスマートフォンを活用した、事前準備が簡単で、かつ遭難者の早期救助を可能とする雪崩遭難者探索システムを開発する。

本稿の以下の構成は次のようになっている。第 2 章では雪崩遭難者の救助に使用される既存のシステムについて記す。第 3 章では開発するシステムで用いる、Bluetooth Low Energy 技術によるビーコンデバイスについて述べる。第 4 章でスマートフォンを用いた雪崩遭難者探索システムを提案、試作し、第 5 章で同システムを評価する。最後に第 6 章で本稿を総括する。

2. 雪崩遭難者の救助

2.1 雪崩の知識

雪崩は、地表上の積雪が丸々崩れ落ちる全層雪崩と固まった雪面上に降り積もった新雪が崩れ落ちる表層雪崩の

¹ 福岡大学
Fukuoka University, Johnan, Fukuoka 814-0180, Japan
a) furusho@fukuoka-u.ac.jp
b) tun@fukuoka-u.ac.jp

2 種類に大別される。全層雪崩は春先の融雪期、過去に発生した場所に多く発生し、その発生は比較的予測しやすい。一方、表層雪崩は短期間に雪が積もったときに起こりやすい。雪の中の状態や外的な衝撃で発生するため、その予測は容易ではない [3]。

雪崩の規模と想定される被害については様々な尺度が定義されているが、たとえばカナダでは表 1 のような尺度を定義している [4]。

表 1 雪崩の規模と想定される被害

規模	想定される被害	質量 [t]	走路長 [m]
1	人的被害はほとんど生じない。	< 10	10
2	人が埋まり、負傷者や死亡者が出る。	10^2	100
3	車が埋まり破壊される。トラックにダメージが出る。木造の建物が破壊される。2, 3 本の木が倒れる。	10^3	1000
4	列車や大きなトラック、数棟の建物が破壊される。4ha 程度の森林が破壊される。	10^4	2000
5	知りうる限り最大の雪崩。村落や 40ha 程度の森林が破壊される。	10^5	3000

本稿で開発する雪崩救助支援システムは、スキーや雪山登山等の場で用いられることを想定しており、表 1 のスケール 2 程度の表層雪崩の遭難者を救出することを目的とする。

雪崩の遭難者の主たる死亡原因は外傷や窒息であり、救出の際には、雪に埋もれた遭難者を現場で早急に見つけ、掘り出すことが必要となる。Brugger らの調査では、18 分以内に救出できた場合の生存率は 90%であるが、それ以降は急激に生存率が下がることが報告されている [5]。

2.2 雪崩遭難者救助のための既存システム

人手による雪崩遭難者の捜索ではプローブと呼ばれる長さ約 3m 程の金属棒が用いられる。救助者が横一列の等間隔に並び、一斉に一歩ずつ進み、それぞれの正面、右、左の 3 点にプローブを雪中へ突き刺すことで雪に埋もれた遭難者を捜索する。この方法では捜索区間をカバーするのに多くの人手が必要になることや捜索に時間がかかること、捜索区間のすべてをカバーすることが困難であることから [6]、遭難者を早期救助するための電子的システムが開発されている。

雪崩ビーコンは、世界的に規格が統一された 457kHz の電波を用いて、遭難者の埋もれている位置を特定するトランシーバの一種である。登山者は登山の間、常時雪崩ビーコンを発信状態にしておく。雪崩により登山者が埋もれた

場合、救助者は雪崩ビーコンを受信状態に切り替え、遭難者が持つ雪崩ビーコンから発信されている電波をもとに遭難者の埋もれている場所を探り当てる。しかし、発生確率の低い雪崩のために数万円する雪崩ビーコンを購入しておかなければならないため、雪山の登山者は必ずしも雪崩ビーコンを持参しているわけではないのが現状である [7]。

電探システムは救助者が所持する探知用の送受信機と登山者があらかじめ装着する反射器から構成される。登山者が雪崩に埋もれた際に、救助者は探知用の送受信機から電波を放射し、その電波の反射器からの反射波を頼りに、遭難者の埋もれている場所を探り当てる。しかし、探知用の送受信機の使用には、日本国内では陸上特殊無線技士 3 級以上の資格を必要とし誰もが扱えるわけではないことや、送受信機は重さが 1kg 程あり持ち運びに不便であることが問題である [7]。

山岳事故一般の救難要請システムであるヤマタンは、富山県内で開発、運用されているペンダント型の発信機であり、登山者に無料で貸し出されている [8]。遭難時にはこの発信機から出る電波をヘリコプタを使って上空から探索することで、遭難者が遭難した場所をおおよそ特定することが可能である。しかし、遭難者自ら救助要請をしたうえでヘリコプタの到着を待つ必要があり、短時間での救助を必要とする雪崩事故での救助には向かない。

3. Bluetooth Low Energy によるビーコンデバイス

ビーコンデバイスは一定間隔で Bluetooth Low Energy (BluetoothLE) のブロードキャスト信号を継続的に送信するデバイスである。ビーコンデバイスから送信される信号の強度によりスマートフォンは自身のビーコンデバイスからの距離を割り出すことが可能である。本稿で開発する雪崩遭難者捜索システムではこのビーコンデバイスとスマートフォンからなる仕組みを利用する。本節では Bluetooth Low Energy 技術によるビーコンデバイスについて説明する。

3.1 Bluetooth Low Energy

Bluetooth は低電力の無線接続技術であり、オーディオのストリーミング、データの転送、デバイス間での情報のブロードキャストなどに使用されている。Bluetooth には Basic Rate (BR) / Enhanced Data Rate (EDR) と LE という 2 つの規格がある [9]。2013 年以降に出荷されたスマートフォンやタブレットの多くが LE 規格である [10]。

Bluetooth LE は長時間の接続を必要としないが、バッテリーを長く持たせる必要のある機器に適した仕様となっている。Bluetooth LE 技術ではサービスを提供する機器をペリフェラルと呼び、サービスを利用する機器をセントラルと呼ぶ。

ペリフェラルは自身が提供するサービスに関する情報をアドバタイジングパケットとして周囲に定期的に放送する。アドバタイジングパケットのペイロード部はひとつ以上の AD Structure と呼ばれるブロックが連続する構造となっている。

ひとつの AD Structure は可変長であり、その構造は表 2 に示す通りとなっている。AD Length には、AD Type (1 バイト長) と AD Data (可変長) をあわせたバイト数が格納される。AD Type には AD Data に格納されるデータの種類の表すコードが入っている。

表 2 iBeacon デバイスが送信するデータ [10]

オフセット	バイト数	フィールド名
0	1	AD Length
1	1	AD Type
2-(n+1)	n	AD Data

3.2 ビーコンデバイス

Bluetooth LE を活用した機器としてビーコンデバイスが市販されている [10]。ビーコンデバイスはペリフェラル、ビーコン信号を受信可能なデバイスはセントラルに位置づけられる。主なビーコン規格として iBeacon と Eddystone が知られている。

iBeacon は、Bluetooth LE のブロードキャスト通信により信号を一定間隔で発信するビーコンデバイスを iOS から利用する技術であり、Apple 社により規格化された。iBeacon はビーコンデバイス (iBeacon デバイス) とその信号を受信する iOS デバイスの組み合わせで利用できる技術である。iBeacon は iOS 7 以降に標準搭載されている。Android OS は iBeacon を公式にはサポートしていないが、現在 iOS と同様に iBeacon を利用できるオープンなライブラリが存在している。

iBeacon デバイスは 27 バイト長の AD Structure を含むアドバタイジングパケットをブロードキャスト送信する。iBeacon デバイスが送信するデータのフォーマットを表 3 に示す。AD Type の 0xff は製造者が自由に構造を定義できる製造者固有データを意味し、Manufacturer Data の 0x4c, 0x00 は製造者の ID、すなわち iBeacon の場合は Apple 社を意味する。以降は Apple 社が定義している構造となるが、続く 0x02, 0x15 は iBeacon のパケットであることを意味する。Proximity UUID は世界で唯一の ID であり、一般的には iBeacon を使うサービスを識別する ID をあてる。Major, Minor は任意の 16 ビット値であり、一般的には iBeacon デバイスの識別に使用する。

3.3 AltBeacon ライブラリ

AltBeacon ライブラリは、ビーコンデバイスがブロードキャストするデータのフォーマットを定義するための

表 3 iBeacon デバイスが送信するデータ [10]

オフセット	バイト数	フィールド名	値
0	1	AD Length	26
1	1	AD Type	0xff
2	1	Manufacturer ID	0x4c
3	1	Manufacturer ID	0x00
4	1	Manufacturer Data	0x02
5	1	Manufacturer Data	0x15
6-21	16	Proximity UUID	
22-23	2	Major	
24-25	2	Minor	
26	1	Signal Power	

Android OS 専用のライブラリである [11]。フォーマットを定義することで、ペリフェラルとして定義されたフォーマットでアドバタイジングパケットを送信すること、ならびにセントラルとしてペリフェラルからの同じフォーマットの信号を受信し識別することが可能になる。

AltBeacon ライブラリの AD Structure の構造は表 4 の通りである。AltBeacon のアドバタイジングパケットに含まれる AD Structure は、製造者固有の AD Structure で規定されているように、1 バイト長のデータ長 (AD LENGTH), 1 バイト長のデータ種別 (AD TYPE) が続く。その後、iBeacon の Manufacturer ID に相当する 2 バイト (MFG ID), Manufacturer Data に相当する 2 バイト (BEACON CODE), Proximity UUID, Major, Minor に相当する 20 バイト (BEACON ID), Signal Power に相当する 1 バイト (REFERENCE RSSI) が続く。REFERENCE RSSI の値は、ビーコンデバイスからの 1m での平均受信信号強度であり、0 から -127 の範囲で表す。最後に、特別な機能を実装するために予約されている AltBeacon 固有の予約バイト (MFG RESERVED) が 1 バイトある。AD Length の値は、iBeacon は 26 だが、AltBeacon は MFG RESERVED の分だけ 1 大きい 27 となる。

MFG ID にアップル社を意味する 0x004c, BEACON CODE に 0x1502 を指定すれば (いずれもリトルエンディアン形式での格納), Android OS でも iBeacon が使えるようになる。

表 4 AltBeacon プロトコルのフィールド説明 [11]

オフセット	バイト数	フィールド名
0	1	AD LENGTH
1	1	AD TYPE
2	2	MFG ID
4	2	BEACON CODE
6	20	BEACON ID
26	1	REFERENCE RSSI
27	1	MFG RESERVED

4. スマートフォンを活用した雪崩遭難者検索システム

本節では、事前準備が簡単で、かつ遭難者の早期救助を可能とする試作したスマートフォンベースの雪崩遭難者検索システムについて述べる。本システムは前節に述べた Bluetooth LE によるビーコン技術を用いる。Bluetooth LE の利用周波数帯は 2.4GHz であるが、文献 [12] によれば、深さ 0.5~1.0m における電波伝搬の減衰は 2~3dB であり、雪に埋もれた遭難者の検出に利用できるものと判断した。

4.1 システムの全体構成

試作するシステムの全体構成を図 1 に示す。システムはスマートフォン、スマートウォッチ、サーバで構成される。スマートフォンが登山者とシステムのインターフェースの中心となり、また雪崩遭難時には難を逃れた救助者に救助を請い、また雪に埋もれた遭難者の探索を支援するデバイスとなる。スマートウォッチは心拍数測定機能を有するものとし、ペアリングしているスマートフォンに対し、常時心拍数を提供する。但し、スマートウォッチはシステムの必須コンポーネントではない。

各コンポーネントの責務は以下の通りである。

スマートフォン

- 登山者の位置情報の測位
- 登山者の帰宅予定時刻の取得
- 救助者ビーコン信号の発信（雪崩遭難時）
- 遭難者ビーコン信号の探索（雪崩遭難時）
- 遭難時のアラームの鳴動（雪崩遭難時）

スマートウォッチ (optional)

- 登山者の心拍数の取得とスマートフォンへの通知

サーバ

- 登山者情報の登録
- 登山者情報の更新
- 登山者情報の削除

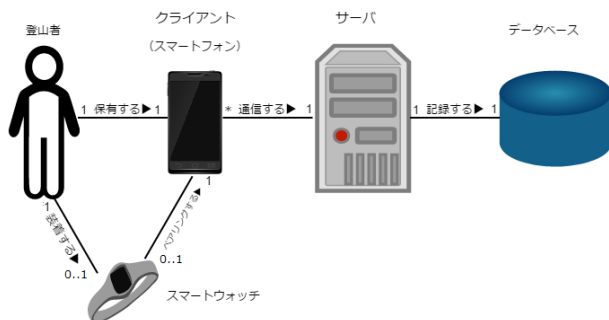


図 1 システム全体構成図

4.2 用語定義

以下はシステムの説明に使用する用語の定義である。

- **登山者:** 登山やスキー等の山岳レクリエーション活動を行うために雪山に行く者。雪崩に被災した後の登山者は、雪崩によって雪に埋もれて動けなくなった遭難者と、雪崩には遭ったものの埋もれることなく身動きがとれる救助者とに分かれる。
- **登山者情報:** 登山者情報はスマートフォンを識別する ID と帰宅予定日時、緯度と経度で表される位置情報とで構成される。
- **ビーコン信号:** ビーコン信号はスマートフォンが iBeacon のフォーマットで発信するアドバタイズパケットであり、後に述べるビーコン情報を含む。ビーコン信号には遭難者ビーコン信号と救助者ビーコン信号がある。
- **ビーコン情報:** ビーコン信号のパケット内の UUID と Major と Minor のフィールド。遭難者ビーコン信号と救助者ビーコン信号のそれぞれのビーコン情報は以下通りである。
 - UUID はスマートフォンアプリケーション内で一意の値でどちらの場合でも同じ。
 - Major はシステム内で割り当てられた ID。
 - Minor は遭難者ビーコン信号の場合はスマートウォッチから受け取る心拍数情報、救助者ビーコン信号の場合は Minor に設定できる最大値。

4.3 システムの機能と使い方

本システムで実現する機能を以下にユースケースとして示す。

登山者情報の登録: 登山者は登山を開始する前に自身の情報と入山の記録をサーバに残す。

- (1) 登山者はシステムに下山予定時刻を入力して登山をすることをシステムに通知する。
- (2) システムは登山者に ID を発行する。
- (3) システムはデータベースに登山者情報を登録する。
- (4) システムは登山者に登録が完了したことを通知する。具体的には、登山者はスマートフォン上で図 2 に示す「入山登録」ボタンを押下し、図 3 に示すフォームに帰宅予定日時を入力して登山登録を行う。スマートフォンはサーバに登山者情報を登録する。

登山者情報の更新: 登山者は一定時間毎にサーバ中に記録されている自身の位置情報を更新する。

- (1) タイマは時間の経過をシステムに通知する。
- (2) システムは登山者の現在位置を GPS で測位する。
- (3) システムはデータベースの登山者情報に含まれる登山者の位置情報を更新する。

具体的には、登山を開始する際に、登山者は図 2 に示す「雪崩対策をする」ボタンを押下する。すると、図 4 の画面が



図 2 初期画面



図 3 入山登録画面

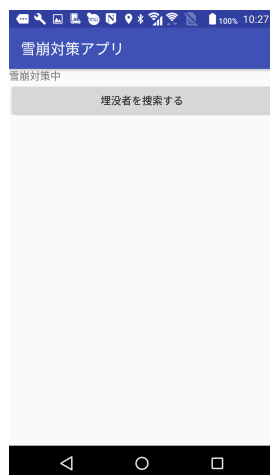


図 4 雪崩対策画面



図 5 救助者画面

現れ、この画面でスマートフォンは継続的に登山者の位置情報をスマートフォンの GPS から取得し、定期的にサーバに登録している登山者情報の中の位置情報を定期的に更新する。

登山者情報の削除: 登山者は無事下山した際、サーバ中に記録されている自身の情報を削除する。

- (1) 登山者は下山したことをシステムに通知する。
- (2) システムは登山者が持つ ID と同じ登山者情報をデータベースから削除する。
- (3) システムは登山者に登山者情報の削除が完了したことを通知する。

具体的には、登山者はスマートフォン上で図 2 に示す「下山完了」ボタンを押下することで、サーバに登録していた登山者情報を削除する。

雪崩対策: 本機能では、登山者が万が一、雪崩に遭い雪に埋もれたときに備えて、システムを雪崩対策状態としておく。

- (1) 登山者は登山を開始することをシステムに通知する。
- (2) システムは近くに救助者ビーコン信号がないかの確認を開始する。

上の「登山者情報の更新」で述べたように、登山者は登山時に「雪崩対策をする」ボタンを押下している。図 4 の画面が現れるが、雪崩に遭難し、雪に埋もれた遭難者のスマートフォンではこの画面が現れたままになっている。この画面が出ている間、スマートフォンは登山者情報の更新をしているだけでなく、救助者のスマートフォンから発信される救助者ビーコン信号が受信できるようになっている。

遭難者の検索: 本機能では、雪崩事故が発生した後、雪崩の難を逃れた救助者による救助を支援する。

- (1) 救助者はシステムに遭難者を検索することを通知する。
- (2) 救助者側のシステムは救助者ビーコン信号を発信し、近くに遭難者ビーコン信号がないか確認する。
- (3) 遭難者側のシステムは救助者ビーコン信号を受信する

と、救助者側のシステムに遭難者ビーコン信号を発信し、アラームを鳴らし始める。(遭難者が心拍数計測機能を有するスマートフォンをつけている場合、遭難者ビーコン信号には遭難者の心拍数情報が含まれる。)

- (4) 遭難者ビーコン信号を受信した場合、救助者側のシステムは救助者に遭難者の距離と心拍数情報を知らせる。具体的には、救助者がスマートフォン上で図 2 の「埋没者を検索する」ボタンを押下すると、救助者のスマートフォンは救助者ビーコン信号を発信する。救助者のスマートフォンは、遭難者ビーコン信号を受信すると図 5 に示す画面を表示し、遭難者ビーコン信号の発信元と受信強度から推算される遭難者までのおおよその距離、遭難者の心拍数を表示する。救助者はこの距離と遭難者のスマートフォンが発するアラームを頼りに遭難者を探索し、心拍数情報に基づいてトリアージを行う。

5. 評価

試作システムは、救助者が雪に埋もれている遭難者になるだけ短い時間で発見し救助できるようにすることを目的としている。そこで、実際に雪中に埋めた雪崩対策状態にある遭難者のスマートフォンを、救助者のスマートフォンによる「遭難者の検索」機能を用いてどの程度の時間で探索できるかを評価する。

評価の方法: 評価にあたって、30m×16m の雪が積もっている広場に、雪面から 0.5m ほどの深さに、雪崩対策状態のスマートフォンを埋設する。埋設位置を知らせていない救助者役の 3 名の被験者 1 名ずつに、「遭難者の検索」機能を用いて雪中に埋設しているスマートフォンを探し出すように依頼し、探索を開始してから完了するまでにかかる時間を計測する。

評価の結果: 実験は大分県玖珠郡九重町の牧ノ戸峠で実施した。現地の当時の積雪は 0.7m ほどの深さであった。3 人がスマートフォンを探索するまでに要した時間は、無

風時は74秒, 123秒, 96秒であり, どの被験者もおおよそ2分以内に雪中の遭難者のスマートフォンを見つけ出した。救助者のスマートフォンの遭難者探索画面には, 遭難者のスマートフォンからの電波の強度に基づいた, 遭難者までの距離が表示されている。どの救助者役の被験者もこの距離が縮まるように歩を進めていくことで雪中の遭難者までの距離を縮めていった。遭難者までの距離が1~1.5mまで縮まると, 雪中のスマートフォンからのアラーム音が聞こえ, その結果, どの被験者も2分程度で遭難者の位置を割り出すことができた。

一方, 強風時に実施した実験では風の音が強く, 3人の被験者がそれぞれ2回, 計6回の探索を行ったところ, 127秒, 251秒, 140秒, 48秒, 276秒, 208秒の時間を要した。スマートフォンが埋まっている場所に近づくのは比較的短い時間でできたが, 埋まっているスマートフォンからのアラーム音が聞きづらく, スマートフォンをピンポイントで掘り当てするのに時間がかかった。実際には埋まっているのはスマートフォンとはちがって, 体積のある人であり, プローブを使えばそれほど時間を要せずに, 遭難者を掘り出すことは可能であると思われる。

前述の通り, 雪崩遭難者の生存率が急激に下がるのは遭難後18分を過ぎてからであり, 雪を掘り返して遭難者を救出する時間を考えても, 深さ0.5m程度の埋没であれば本システムは十分実用に耐えるものと考えられる。もっとも今回評価した条件は非常に限定的なものであり, より遭難者がより深く埋まった場合, あるいはより広い範囲で遭難者を捜さなければならない場合でも, 電波強度に基づいて遭難者のおおよその位置を正確に割り出せるか, また雪中からアラーム音が聞こえるのかは, さらなる評価のうえで結論を出す必要がある。特に, 電波強度から割り出す距離とアラーム音とを用いることの効果は大きく, 強風下でも聴き取れるようなアラーム音のあり方については一層の検討が必要と思われる。

6. まとめ

以上, 本稿では, 日常使用しているスマートフォンを用いた, 追加の費用や事前準備の手間のない, 雪崩遭難者探索システムを開発し, その評価を実施した。当該システムは, Bluetooth LEを基盤とするiBeaconを用い, 救助者のスマートフォンから雪に埋もれた遭難者のスマートフォンへ応答を求めるパケットを送信し, それを受信した遭難者のスマートフォンは応答パケットを送信するとともにアラーム音の吹鳴を始める。救助者は応答パケットの電波強度から割り出される遭難者までの距離とアラーム音を頼りに雪に埋もれた遭難者を探り出す。その他, 本システムには登山登録する機能, 自己位置を更新する機能, 登山完了後に登録を抹消する機能を備えるほか, 心拍数を計測できるスマートウォッチと連携し, トリアージのために遭難者

の心拍数を救助者に知らせる機能も有している。実際に積雪地帯で行った実験では, 最短で48秒, 最長で276秒, 平均150秒で遭難者を捜し出すことに成功した。

謝辞 本研究の一部は科研費(課題番号: 15H05708)の助成を受けている。

参考文献

- [1] 有限会社センテンス, 「雪崩発生件数」, <http://sentence.co.jp>, 2017年3月28日。(最終アクセス日: 2017年12月30日)
- [2] 出川 あずさ, 「山岳レクリエーションでの雪崩死亡事故の特徴」, 2013年度日本雪氷学会北信越支部大会予稿集, 2013年5月。
- [3] 高橋 喜平, 『日本の雪崩: 雪崩学へのみち』, 講談社, 1980年。
- [4] D. M. McClung and P. A. Schaerer, *The Avalanche Handbook*, 3rd ed., The Mountaineers, 2006.
- [5] H. Brugger, B. Durrer, F. Elsensohn, P. Paal, G. Strappazon, E. Winterberger, K. Zafren, and J. Boyd, “Resuscitation of Avalanche Victims: Evidence-Based Guidelines of the International Commission for Mountain Emergency Medicine (ICAR MEDCOM) Intended for Physicians and Other Advanced Life Support Personnel,” *Resuscitation*, Vol. 84, No. 5, pp. 539–546, May 2013.
- [6] 日本雪崩ネットワーク, 「ロープの向こう側」, <https://www.nadare.jp/basic/safety-measure/>. (最終アクセス日: 2017年12月30日)
- [7] 山岳・雪崩等遭難者電波探索システムのための周波数有効利用技術に関する調査検討会, 「山岳・雪崩等遭難者電波探索システムのための周波数有効利用技術に関する調査検討報告書」, http://www.soumu.go.jp/main_content/000477152.pdf, 2017年3月。(最終アクセス日: 2017年12月26日)
- [8] 山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する検討会総務省北陸総合通信局, 「山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する検討会報告書」, <http://www.soumu.go.jp/soutsu/hokuriku/resarch/houkoku.pdf>, 2005年3月。(最終アクセス日: 2017年12月26日)
- [9] Bluetooth SIG, <https://www.bluetooth.com/ja-jp>. (最終アクセス日: 2018年1月3日)
- [10] 市川 博康, 竹田 寛郁, 『統計・防災・位置情報がひと目でわかるビーコンアプリの作り方』, 技術評論社, 2016年。
- [11] AltBeacon, <http://altbeacon.org/>. (最終アクセス日: 2017年12月31日)
- [12] 山口 芳雄, 「こちら波動情報研究室(第1回): 雪の性質と電波伝搬」, 季刊情報誌SAWS, pp. 2–5, 菊水電子工業, 2001年7月。